

GaN-BASED SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT AND GaN-BASED SEMICONDUCTOR PHOTODETECTING ELEMENT

Publication number: JP2000174339 (A)

Publication date: 2000-06-23

Inventor(s): KOTO MASAHIRO; OKAGAWA HIROAKI; OUCHI YOICHIRO; TADATOMO KAZUYUKI

Applicant(s): MITSUBISHI CABLE IND LTD

Classification:

- international: H01L33/00; H01L31/10; H01L33/00; H01L31/10; (IPC1-7): H01L33/00; H01L31/10

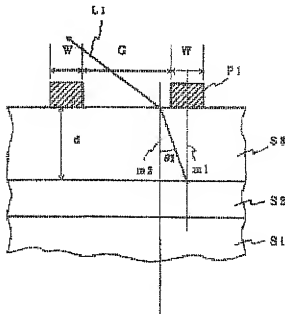
- European: H01L33/38

Application number: JP19980346237 19981204

Priority number(s): JP19980346237 19981204

Abstract of JP 2000174339 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a GaN-based light-emitting element excellent in light emitting characteristic by improving the structure of a light leading-out side electrode, and obtain a GaN-based photodetecting element excellent in light receiving characteristic by improving the structure of a light-fetching side electrode. **SOLUTION:** The forming pattern of upper electrodes P1 has a repetition part, where covered regions in which the upper surface of a contact layer S3 is covered the electrode P1 and exposed regions in which the upper surface of the layer 3 is not covered but exposed, are alternately arranged. In the repetition part, a width of the covered region is W, a width of the exposed region is G, a depth from the upper surface of the contact layer S3 to a light-emitting layer S2 is (d), refractive index of the outside is n_2 , in this case, $W \sin \theta_1 = 10 \mu\text{m}$, $W \sin \theta_1 = 2G$, and $G \sin \theta_1 = d \tan \theta_1$ (where $\theta_1 = \sin^{-1}(n_2/n_1)$) are satisfied. Furthermore, other various kinds of modes are imparted to the upper electrode.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(10) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-174339

(P2000-174339A)

(43) 公開日 平成12年6月23日 (2000. 6. 23)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-ポ-ト* (参考)
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 5 F 0 4 1
			E 5 F 0 4 9
31/10		31/10	H

審査請求 未請求 請求項の数 7 ○ L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-346237

(22) 出願日 平成10年12月4日 (1998. 12. 4)

(71) 出願人 000003283

三菱電機工業株式会社

兵庫県尼崎市東向島西之町8番地

(72) 発明者 湖東 裕弘

兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電機

工業株式会社伊丹製作所内

(72) 発明者 岡川 広明

兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電機

工業株式会社伊丹製作所内

(74) 代理人 100080791

弁理士 高島 一

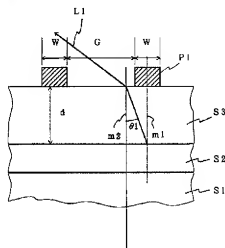
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 GaN系半導体発光素子およびGaN系半導体受光素子

(57) 【要約】

【課題】 光を取り出す側の電極の構造を改善し、より発光特性の優れたGaN系発光素子を提供し、また、光を取り入れる側の電極の構造を改善し、より受光特性の優れたGaN系受光素子を提供すること。

【解決手段】 上部電極P1の形成パターンを、該電極P1がコンタクト層S3の上面を覆う被覆領域と、層S3の上面を覆わず露出させる露出領域とが交互に並んだ繰り返し部分を有する形成パターンとして、この繰り返し部分において、被覆領域の幅をW、露出領域の幅をG、コンタクト層S3の上面から発光層S2までの深さをd、コンタクト層の屈折率をn1、外界の屈折率をn2として、 $W \leq 1.0 \mu\text{m}$ 、 $W \leq 2G$ 、 $G \leq d \times \tan \theta_1$ (ただし、 $\theta_1 = \sin^{-1} (n_2/n_1)$) を満足させる。また、その他種々の上部電極の態様を付与する。



S1 n型コンタクト層 (クラッド層)

S2 発光層 (活性層)

S3 p型コンタクト層 (クラッド層)

L1 光

P1 上部電極

【特許請求の範囲】

【請求項1】 GaN系材料からなる発光層を有するGaN系半導体発光素子であって、発光層に対し光が外界へ出ていく側を上部側として、発光層の上側には、電極を形成するためのGaN系材料からなるコンタクト層を介して上部電極が設けられ、

該上部電極の形成パターンは、該電極がコンタクト層上面を覆う被覆領域と、該電極がコンタクト層上面を覆わず露出させる露出領域とが交互に並んだ繰り返し部分を有する形成パターンであって、

前記繰り返し部分において、繰り返し方向に関する個々の被覆領域の幅をWとし個々の露出領域の幅をGとし、コンタクト層上面から発光層までの深さをd、コンタクト層の屈折率をn1、外界の屈折率をn2とすると、

$$W \leq 10 \mu\text{m},$$

$$W \leq 2G,$$

$$G \leq d \times \tan \theta 1 \quad (\text{ただし、} \theta 1 = \sin^{-1} (n2/ n1)),$$

であることを特徴とするGaN系半導体発光素子。

【請求項2】 GaN系材料のpn接合によって光電流に係るキャリアを発生する光検出層を有するGaN系半導体受光素子であって、光検出層に対し受光対象光が入射する側を上側として、光検出層の上側には、電極を形成するためのGaN系材料からなるコンタクト層を介して上部電極が設けられ、

該上部電極の形成パターンは、該電極がコンタクト層上面を覆う被覆領域と、該電極がコンタクト層上面を覆わず露出させる露出領域とが交互に並んだ繰り返し部分を有する形成パターンであって、

前記繰り返し部分において、繰り返し方向に関する個々の被覆領域の幅をWとし個々の露出領域の幅をGとし、コンタクト層上面から発光層までの深さをd、コンタクト層の屈折率をn1、外界の屈折率をn2とすると、

$$W \leq 10 \mu\text{m},$$

$$W \leq 2G,$$

$$G \leq d \times \tan \theta 1 \quad (\text{ただし、} \theta 1 = \sin^{-1} (n2/ n1)),$$

であることを特徴とするGaN系半導体受光素子。

【請求項3】 GaN系材料からなる発光層を有するGaN系半導体発光素子であって、発光層に対し光が外界へ出ていく側を上部側として、発光層の上側には、電極を形成するためのGaN系材料からなるコンタクト層を介して上部電極が設けられ、

該上部電極が、発光層からの光を透過し得るように薄膜とされた透光性電極と、該透光性電極中を電極形成面の方向に流れる電流よりも大きい電流が前記方向に流れるよう形成された幹線用電極とが、交互に並んだ部分を有することを特徴とするGaN系半導体発光素子。

【請求項4】 透光性電極がオーミック電極であって、幹線用電極がショットキー電極である請求項3記載のGaN系半導体発光素子。

【請求項5】 コンタクト層の内部における、幹線用電極の直下で該電極に接した部位に、または上記幹線用電極の直下で該電極から離れた部位に、電流の妨害となり得る電流阻止層が形成されている請求項3記載のGaN系半導体発光素子。

【請求項6】 GaN系材料のpn接合によって光電流に係るキャリアを発生する光検出層を有するGaN系半導体受光素子であって、光検出層に対し受光対象光が入射する側を上側として、光検出層の上側には、電極を形成するためのGaN系材料からなるコンタクト層を介して上部電極が設けられ、

該上部電極が、受光対象光を透過し得るように薄膜とされた透光性電極と、該透光性電極中を電極形成面の方向に流れる電流よりも大きい電流が前記方向に流れるよう形成された幹線用電極とが、交互に並んだ部分を有することを特徴とするGaN系半導体受光素子。

【請求項7】 GaN系材料からなる発光層を有するGaN系半導体発光素子であって、発光層に対し光が外界へ出ていく側を上側として、発光層の上側には、電極を形成するためのGaN系材料からなるコンタクト層を介して上部電極が設けられ、

該上部電極の形成パターンは、該電極がコンタクト層上面を覆う被覆領域と、該電極がコンタクト層上面を覆わず露出させる露出領域とが交互に並んだ繰り返し部分を有する形成パターンであって、コンタクト層上面のうち、露出領域には凹部が設けられていることを特徴とするGaN系半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、GaN系半導体材料を用いた半導体発光素子、受光素子の技術分野に属する。

【0002】

【従来の技術】GaN系発光素子は、GaN系材料を用いた半導体発光素子であって、近年高輝度の発光ダイオード(LED)が実現されたのを機会に研究が活発に行われており、半導体レーザの室温連続発振の報告も図られる様になっている。GaN系とは、In_aGa_bAl_cN (0 ≤ a ≤ 1, 0 ≤ b ≤ 1, 0 ≤ c ≤ 1, a + b + c = 1) で表される化合物半導体を意味する。

【0003】以下、本明細書では、素子の説明のために、結晶基板が下層側に位置しこれにGaN系結晶層が上方へ積み重ねられるものとして、素子の積層構造に上下方向の区別を設け、「上層」「上面」「上方」などの語句を用いる。

【0004】GaN系発光素子の一般的な構造は、図8に示すように、結晶基板10上に、pn接合による発光

層22を含むGa_n系結晶層の積層体20を成長させた構造を有する。電極は、積層体20の最上層の結晶層をオーミック電極を形成するためのコンタクト層として、その上に上部電極P10(通常p型)が形成される。また発光層より下側にある下部電極は、通常は結晶基板(サファイア結晶基板)が絶縁性であるために、積層体20の一部を除き、下側のコンタクト層21を部分的に露出させ、その面に下部電極P20(通常n型)が形成される。

【0005】発光層から発せられた光を上方に放出させる場合、上部電極の形態パターンとして、図8(b)に示す様な、櫛(くし)形パターンや、図8(c)に示す様な、透光性電極の態様が挙げられる。図8(b)のくし形パターンの電極は、発光面上に部分的に電極を設けた構造の一種で、電流を拡散し、電極のない開口部から発光した光を取り出す構造になっている。図8(c)の透光性電極は、電極材料を薄膜状に形成して透光性を持たせたものであり、電極直下の発光を透光性電極を通して外に取り出す構造になっている。いずれも、積層体内に流れる電流をより多く、より広げながらも、一方では、上部電極を形成する面からより多くの光を外部へ放出しようとした構成である。

【0006】一方、pn接合による光起電力を取り出すタイプのGa_n系受光素子の構造においても、受光対象光を入射させる側の電極(上部電極)は、くし形パターンの電極や、透光性電極の態様とする場合がある。これは、いずれも、上部電極を形成する面からより多くの受光対象光を素子内へ広く入射させようとしながらも、一方では、内部のpn接合で発生した光起電力をより効率的に多く集めようとする構成である。

【0007】【発明が解決しようとする課題】しかし、従来のGa_n系発光素子、Ga_n系受光素子では、電極の幅や電極間の隙間に対してなんら数値的な規定がない。例えば、発光素子において、くし形パターンの電極のように部分的に設けられた上部電極の構造では、電流はほぼ電極直下だけにしか流れず、発光層での発光は電極直下のみとなる。従って、くし形パターンの電極の態様であっても、最も強く発光する部分の直上には電極の導体部分が存在し、光を上方に取り出す際には、電極の導体部分での反射・吸収によって取り出し効率が悪いということになる。

【0008】発光素子において、透光性電極を用いた態様では、透光性を確保するためにその膜厚を最小限に抑える必要がある。しかし膜厚が小さくなると、その電極のシート抵抗が増加するため、電極での電圧降下が大きくなってしまふ。またシート抵抗が極端に大きくなると、電流が面の拡張する方向に十分に広がらず、その結果部分的にしか発光しなくなってしまう。また逆に電極膜厚を大きくすると、シート抵抗は小さくなるが、透光

性が低下し、発光した光の外部への取り出し効率が悪くなってしまふ。

【0009】また、受光素子においては、くし形パターンの電極では、露出部(電極間隙)が狭くなることで感度が悪くなり、逆に広げるとキャリアの発生を電極に取り出すのに損失を受け、感度が悪くなる。また、透光性電極では、受光対象光をより多く素子内に入れるために膜厚を薄くすると、その電極のシート抵抗が増加し、微少な電流を高密度に集めることができない。逆に電極膜厚を大きくすると、シート抵抗が小さくなるが、透光性が低下し、受光対象光の入射量が減少する。

【0010】本発明の課題は、Ga_n系発光素子において、光を取り出す側の電極の構造を改善し、より発光特性の優れた素子を提供することである。

【0011】また、本発明の他の課題は、Ga_n系受光素子において、光を取り入れる側の電極の構造を改善し、より受光特性の優れた素子を提供することである。

【0012】【課題を解決するための手段】本発明のGa_n系半導体発光素子およびGa_n系半導体受光素子は、以下の特徴を有するものである。

(1) Ga_n系材料からなる発光層を有するGa_n系半導体発光素子であって、発光層に対し光が外界へ出ていく側を上部側として、発光層の上部側には、電極を形成するためのGa_n系材料からなるコンタクト層を介して上部電極が設けられ、該上部電極の形成パターンは、該電極がコンタクト層上面を覆う被覆領域と、該電極がコンタクト層上面を覆わず露出させる露出領域とが交互に並んで繰り返す部分を有する形成パターンであって、前記繰り返す部分において、繰り返すの方向に関する個々の被覆領域の幅をWとし、個々の露出領域の幅をGとし、コンタクト層上面から発光層までの深さをd、コンタクト層の屈折率をn1、外界の屈折率をn2とするとき、 $W \leq 10 \mu\text{m}$ 、 $W \leq 2G$ 、 $G \leq d \times \tan \theta 1$ (ただし、 $\theta 1 = \sin^{-1}(n2/n1)$)、であることを特徴とするGa_n系半導体発光素子。

【0013】(2) Ga_n系材料のpn接合によって光電流に係るキャリアを発生する光検出層を有するGa_n系半導体受光素子であって、光検出層に対して受光対象光が入射する側を上部側として、光検出層の上側側には、電極を形成するためのGa_n系材料からなるコンタクト層を介して上部電極が設けられ、該上部電極の形成パターンは、該電極がコンタクト層上面を覆う被覆領域と、該電極がコンタクト層上面を覆わず露出させる露出領域とが交互に並んで繰り返す部分を有する形成パターンであって、前記繰り返す部分において、繰り返すの方向に関する個々の被覆領域の幅をWとし、個々の露出領域の幅をGとし、コンタクト層上面から発光層までの深さをd、コンタクト層の屈折率をn1、外界の屈折率をn2とするとき、 $W \leq 10 \mu\text{m}$ 、 $W \leq 2G$ 、 $G \leq d \times \tan$

$\theta 1$ (ただし、 $\theta 1 = \sin^{-1}(n2/n1)$)、であることを特徴とするGaN系半導体受光素子。

【0014】(3) GaN系材料からなる発光層を有するGaN系半導体発光素子であって、発光層に対し光が外界へ出ていく側を上部側として、発光層の上部側には、電極を形成するためのGaN系材料からなるコンタクト層を介して上部電極が設けられ、該上部電極が、発光層からの光を透過し得るように薄膜とされた透光性電極と、該透光性電極よりも大きい電流が電極形成面の方に通過可能とされた幹線用電極とが、交互に並んだ部分を有することを特徴とするGaN系半導体発光素子。

【0015】(4) 透光性電極がオーミック電極であって、幹線用電極がショットキー電極である上記(3)記載のGaN系半導体発光素子。

【0016】(5) コンタクト層の内部における、幹線用電極の直下で該電極に接した部位に、または上記幹線用電極の直下で該電極から離れた部位に、電流の妨害となり得る電阻阻止層が形成されている上記(3)記載のGaN系半導体発光素子。

【0017】(6) GaN系材料のpn接合によって光電流に係るキャリアを発生する光検出層を有するGaN系半導体受光素子であって、光検出層に対し受光対象光が入射する側を上部側として、光検出層の上部側には、電極を形成するためのGaN系材料からなるコンタクト層を介して上部電極が設けられ、該上部電極が、受光対象光を透過し得るように薄膜とされた透光性電極と、該透光性電極よりも大きい電流が電極形成面の方に通過可能とされた幹線用電極とが、交互に並んだ部分を有することを特徴とするGaN系半導体受光素子。

【0018】(7) GaN系材料からなる発光層を有するGaN系半導体発光素子であって、発光層に対し光が外界へ出ていく側を上部側として、発光層の上部側には、電極を形成するためのGaN系材料からなるコンタクト層を介して上部電極が設けられ、該上部電極の形成パターンは、該電極がコンタクト層上面を覆う被覆領域と、該電極がコンタクト層上面を覆わず露出させる露出領域とが交互に並んだ繰り返し部分を有する形成パターンであって、コンタクト層上面のうち、露出領域には四角が設けられていることを特徴とするGaN系半導体発光素子。

【0019】GaN系とは、 $In_xGa_{1-x}Al_zN$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq z \leq 1, 0 \leq c \leq 1, a+b+c=1$)で示される化合物半導体意味する。

【0020】

【作用】上記(1)の発光素子の態様では、上部電極の繰り返し部分(具体的に、くし形パターンの電極の「くしの歯」に相当する部分)において、上記(1)のように、W、G、d、n1、n2を、 $0W \leq 10 \mu m$ 、 $0W \leq 2G$ 、 $0G \leq d \times \tan \theta 1$ と規定している。これら①～⑥の限定が揃うことによって、発光層から発

せられた光を電極での反射・吸収が最小限に抑えられ、光取り出し効率が向上する。これを図2で簡単に説明する。

【0021】上記①と②との限定は、被覆領域(電極P1の幅)を数値限定するとともに、被覆領域と露出領域との比の好ましい大小関係を限定したものである。上記①の限定によって、まず、電流の注入口の大ききの好ましい数値範囲が限定され、これに上記②の限定が加えられて、光の放出口の大ききの好ましい数値範囲および電流の注入口との関係が限定される。上記②において $2G < W$ では、上部pクラッド層により外部に光を取り出す領域が小さくなり、つまり、外部取り出し効率が悪くなり、好ましくない。

【0022】上記②と③の限定によって、外界に出ていく光にとって好ましい開口と障害の関数が確定し、しかもその障害から直下にdだけ離れた部分では光が発生する。この条件を満たす上で、上記③の限定が加えられる。これは、図2に示すように、屈折の法則に基づくdとGとの好ましい関係である。上部電極下面から直下にdだけ離れて位置する発光層から発せられた光L1は、屈折角 $\theta 1$ をもってGaN系結晶層から外界に出ていく。このとき、 $G \leq d \times \tan \theta 1$ とすることによって、図2中、m1(電極中心直下)からm2(電極端部直下)までの間で発せられた光L1を、層S3の上面(Gの領域)全域で外部に取り出せる。それより左の上面では全反射され、光が出てこない。

【0023】上記(2)の受光素子の態様では、W、G、d、n1、n2を上記(2)のように、W、G、d、n1、n2を、 $0W \leq 10 \mu m$ 、 $0W \leq 2G$ 、 $0G \leq d \times \tan \theta 1$ (ただし、 $\theta 1 = \sin^{-1}(n2/n1)$)と規定することによって、光検出層への光の量を十分に確保でき、かつ発生したキャリアを効率よく集めることができ、感度が向上する。

【0024】上記(3)の発光素子の態様では、透光性電極と、幹線用電極とを、交互に配置することにより、発光層上部における電圧降下を最小限に抑え、幹線用電極を通じて透光性電極全体に電流を行き渡らせることができる。その結果、発光層全域に充分に電流が流れ、全面が発光する。

【0025】上記(3)の発光素子の態様にさらに加えて、上記(4)、(5)の態様として、幹線用電極とコンタクト層との間で直接的に流れる電流を抑制することで、図6(a)、(b)に電流経路を矢印で示すように、電流は、幹線用電極直下には流れて、透光性電極の直下には流れるので、発光した光の透光性電極からの取り出し効率が良くなる。

【0026】上記(6)の受光素子の態様では、透光性電極と、幹線用電極とを、交互に配置することにより、透光性電極の直下で発生した電流を、透光性電極で受け、速やかに幹線用電極に集めることができ、応答速

度、感度が向上する。

【0027】上記(7)の発光素子の態様では、上部側のコンタクト層上面のうちの露出領域に凹部を設けたことによって、発光層までの層の厚みが薄くなり、発光層から発せられる光がコンタクト層で減衰するのを防止でき、光取り出し効率が高くなる。これによって、例えば、発光層での発光波長を350nmの紫外線とする場合でも、p型コンタクト層にGaInを用いることができる。一方、電極下部については、発光層までの層の厚みが十分に厚く確保されているため、電極材が発光層へ拡散することによる寿命の低下が防止できる。

【0028】

【発明の実施の形態】先ず、上記(1)の発光素子の態様について説明する。図1は、上記(1)の発光素子の構成例を示す図であって、発光層としてダブルヘテロ接合構造(DH構造)を有するGaIn系発光ダイオード(LED)を示している。以下、素子構造を説明する際には、サファイア基板上にGaIn系結晶層を成長させた構成例を用い、上部電極をp型、下部電極をn型として説明するが、これに限定されず、p型、n型の上下が逆の態様や、導電性を有する結晶基板を用いて電極の位置を変更した態様などは、自由に組み合わせよい。

【0029】同図の例では、図1(a)に示すように、結晶基板1上にバッファ層(図示せず)を介して、n型コンタクト層2とn型コンタクト層とを兼ねるn型GaIn層S1、InGaIn活性層S2、p型コンタクト層とp型クラッド層とを兼ねるp型GaIn層S3が形成されており、この積層体の一角が部分的にエッチングされてn型GaIn層S1が露出した構造となっている。この露出したn型GaIn層S1には、下部電極(n型電極)P2が形成され、エッチングで残された積層体の最上面には上部電極(p型電極)P1が形成されている。

【0030】上部電極P1の形成パターンは、図1(b)に示すように、くし形パターンの電極となっており、コンタクト層の上面においては、「くしの歯」に相当する部分に覆われた領域が被覆領域であり、「くしの歯」の間隙に相当する部分が露出領域である。被覆領域と露出領域は結晶に交互に並んだ繰り返し部分となっている。上部電極P1のうち突起部分P1aは、ワイヤボンディング用に用いられるボンディング用電極である。図1(b)に示す上部電極のA-A断面のうちの、繰り返し部分を拡大したものが図2である。図2に示すように、電極幅をW、電極間の間隙をG、コンタクト層の屈折率を n_1 、外界(通常、大気)の屈折率を n_2 、p型コンタクト層上面から発光層までの距離を d とし、上記作用の説明で述べたように、①～③の限定がなされている。

【0031】繰り返し部分の電極の形成パターンは、くし形パターンであっても良いし、図3(a)に示すような格子状、図3(b)に示すような同心の円弧状、その

他、同心円状など、被覆領域と露出領域とが交互に繰り返すパターンであればよい。また、同一周期で繰り返すだけでなく、上記①～③の限定の範囲内ならば、被覆領域と露出領域とが、規則的にまたは不規則に変化して、交互に配置されるパターンであってもよい。

【0032】上部電極の繰り返し部分の厚みは限定されないが、厚すぎると光の通過の障害となるため、0.01 μm ～2 μm 程度が好ましい範囲である。また、上部電極に透光性を持たせれば、電極を通して発光を取り出せるので好ましい。

【0033】電極材料は、電極/半導体層界面での電圧降下を抑制するために、オーミック性の材料がよく、公知の材料を用いてよい。例えば、Au、Ni、Pt、Pd、Ir、Co、Cなどの中から一つ以上の単体あるいは積層構造、合金を用いる態様が挙げられる。

【0034】発光素子中における、発光のメカニズムに直接関係する構造としては、単純なp-n接合による2層(HOMO、SH)、DH(ダブルヘテロ接合)による3層の他、超格子構造を有するSQW(Single Quantum Well)、MQW(Multiple Quantum Well)、量子ドットを有する構造などが挙げられる。このなかで、本発明でいう発光層とは、2層のp-n接合の場合では接合の界面に生じる空乏層であり、DHでは活性層である。また、SQW、MQW、量子ドット構造の場合は、バリア層とウル層とを含んだ井戸型ポテンシャルの構造全体が発光層である。

【0035】p型コンタクト層上面から発光層までの距離 d とは、発光層が活性層の場合には、コンタクト層上面から活性層の上面までの距離である。また、発光層が、SQW、MQW、量子ドット構造の場合も、コンタクト層上面から、井戸型ポテンシャル構造の上面、即ち、バリア層のうちの最上層の上面までの距離である。2層のp-n接合の界面に生じる空乏層を発光層とする場合のみ、近似的に、コンタクト層上面からp-n接合の界面までの距離 d とする。

【0036】コンタクト層は、オーミック電極を形成するために独立して設けられたGaIn系結晶層、また、図1のようにクラッド層と兼用する層、p-n接合を構成する一方の層であってもよい。いずれの場合であっても、発光層からの光を吸収しないように、該光よりも大きなバンドギャップの材料が用いられる。

【0037】コンタクト層の屈折率 n_1 は、コンタクト層の材料によっても異なるが、例えば、波長450nmの光に対して、GaInでは2.493、Al_{0.1}Ga_{0.9}Nでは2.426などとなる。外界の屈折率 n_2 は、コンタクト層上面を屈折の界面として、その外側を取り巻く部分(真空または物質)の屈折率である。最も一般的な使用環境である大気中で使用の場合には、空気の屈折率 $n_2 \approx 1$ となる。

【0038】コンタクト層の材料にはGaIn系材料が用

いられるが、発光層から発せられた光のエネルギーよりも大きなバンドギャップの材料を用い、光を吸収させないようにするのがよい。例えば、紫外線発光の場合は、バンドギャップの大きなAlGaInが望ましい。ただしAl組成を高くすると発光側電極がオーミック特性を得にくくなる。

【0039】オーミック電極とは、好ましくは、金属-半導体の接触が整流特性を示さないものであって、例えば、S. M. Sze著(南日康夫訳)「半導体デバイス」、産業図書(初版第3刷、163頁)の記載が参照される。

【0040】GaIn系結晶を成長させる方法は、HVPE、MOCVD、MBE法などが挙げられ、特に、MOCVD・MBE法が好ましい。

【0041】上記(2)の受光素子の態様については、素子としての構造は図1と同様である。また、発光層を光吸収層とし、外界からの受光対象光がコンタクト層上面の露出領域から素子内に入射するとして、上部電極、p型コンタクト層などの各部の説明は上記(1)の説明を準用する。

【0042】次に上記(3)の発光素子の態様について説明する。素子全体の積層構造については、上部電極の構造以外は、上記(1)の発光素子と同様であり、図1(a)の構造、図8の従来の素子の構造などが参照される。この発光素子の上部電極P1は、図5(a)に示すように、透光性電極P11と、幹線用電極P12とが交互に互いに導通状態となるよう接触しながら並んだ部分を有する。透光性電極P11は、発光層からの光を透過し得るように薄膜とされた電極である。幹線用電極P12は、透光性電極P11中を、面方向に流れる電流よりも大きい電流が同方向に通過可能とされた電極、即ち、シート抵抗のより小さい電流供給用の電極である。面方向とは、電極形成面(コンタクト層の上面)が拡張する方向である。また、図5(a)に示す、GaIn系結晶層の積層構造は、n型クラッド層S1、活性層S2、p型クラッド層(=コンタクト層)S3である。

【0043】透光性電極の材料は、電極/半導体層界面での電圧降下を抑制するために、オーミック性の材料がよく、上記(1)の発光素子で示した材料を用いることができる。透光性電極の厚さは、透光性を確保するために、 $0.005\mu\text{m} \sim 0.05\mu\text{m}$ が好ましい。

【0044】幹線用電極は、材料自体は透光性電極と同じものを用いてもよいが、透光性電極を流れる電流よりも大きい電流が通過可能なように、即ち、透光性電極よりもシート抵抗が低いように形成する。具体的には、より厚く形成する電極が挙げられ、その場合には、充分な電流量を確保するために、 $0.01\mu\text{m} \sim 2\mu\text{m}$ が好ましい。

【0045】幹線用電極と透光性電極との形成パターン、即ち、コンタクト層上面における互いの組み合わせ

パターンは限定されない。図5(b)に示す例では、コンタクト層上面を、幹線用電極P12によって大きく3つの正方形の区画に分割し、各正方形の区画に透光性電極P11を設けている。その他、幹線用電極のパターンを、図1(b)のくし型、図3(a)の格子状、図3(b)の同心の円環状、同心の円状、放射状などのパターンとし、各々の幹線用電極の間に透光性電極を設けたパターンとしてもよい。特に、図4(a)や図4(b)に示すように、n電極P2に対して距離が同じになるように各々の幹線用電極を配置すると、発光が均一になってよい。また、上記(1)の発光素子の上部電極の限定条件のうち $W \leq 10\mu\text{m}$ 、 $W \leq 2G$ 、を適用してもよい。

【0046】上記作用の説明で述べたように、この(3)の発光素子では、幹線用電極とコンタクト層との間で直接的に流れる電流を抑制し、透光性電極の下に電流を流す態様が挙げられる。具体的に、電流を抑制するには、幹線用電極をショットキー性のものとする態様、図6(b)に示すように、コンタクト層S3の内部において、幹線用電極の直下に、電流の妨害となり得る電流阻止層Qを設ける態様が挙げられる。電流阻止層Qは、電極に接して(即ち、コンタクト層上面に露出させて)設けてもよく、また、幹線用電極の直下で該電極から離れた部位に設けてもよい。

【0047】幹線用電極をショットキー性として形成するには、p型層の場合、Al、Ti、Ta、Siなどの中から単体、または複数の材料を選択して用いればよい。ショットキー性電極の形成方法は限定されないが、透光性電極を形成し、これに電極アニールにてオーミック性を持たせた後、幹線用電極をショットキー電極として形成する手順が好ましい。

【0048】電流阻止層は、上記のように、コンタクト層上面に露出した状態とするか、コンタクト層内に埋設された状態として、部分的に設ける。電流阻止層の作用を得るためには、周囲と異なる導電型(p型コンタクト層の場合はn型)とする態様、アンドープなどによって高抵抗なGaIn系結晶層とする態様、絶縁材料(例えば SiO_2 、 Si_3N_4 、 Al_2O_3 など)を用いる態様などが挙げられる。

【0049】上記(6)の受光素子の態様については、素子としての積層構造は図1と同様である。上部電極の構造については、上記(3)の発光素子の説明を準用する。ただし、受光素子であるために、上記(3)の発光素子とは異なり、幹線用電極をショットキー性にする態様、幹線用電極の直下に電流阻止層を設ける態様などは不要である。また、上記(2)の受光素子、上記(6)の受光素子ともに、素子構造は、p-i-n構造タイプでもp-n接合タイプでもよい。発明の意図を満たすならば別構造であってもよい。

【0050】次に、上記(7)の発光素子の態様につい

て説明する。素子全体の積層構造については、上部電極、コンタクト層の構造以外には、上記(1)、(3)の発光素子と同様であり、これらの説明を準用する。図1(a)の構造、図8の従来の素子の構造などが参照される。この発光素子には、上部電極だけでなくコンタクト層にも構造上の特徴がある。即ち、上部電極の形成パターンは、上記(1)の発光素子の場合と同様、被覆領域と露出領域とが交互に並んだ繰り返し部分を有する形成パターンであって、図7に示すように、p型コンタクト層(=p型クラッド層)S3の上面S31(一点鎖線で示している)には、露出領域に凹部S32が設けられていることを特徴とする。

【0051】上部電極は、オーミック電極であればよく、厚さにも規定はないが、光が透過する程度の厚さにするため上部電極の直下からの発光も取り出し可能となるため好ましい。上部電極の形成パターンは、図1(b)のくし型、図3(a)の格子状、図3(b)の同心の円弧状、同心の円状、放射状などのパターンが挙げられる。

【0052】図7に示すp型コンタクト層の厚さ、即ち、凹部ではない部分の厚さは、限定されないが、電極材が発光層に拡散することによる素子寿命低下を起こさない程度に厚くするのがよい。一方、コンタクト層が厚すぎると、潜形成に時間がかかるなどの問題があるため、0.1 μ m \sim 5 μ m程度の範囲がよい。

【0053】凹部は、p型コンタクト層S3の上面S31のうち、露出領域に設けられるが、この領域をより大きく占有するように設けるのが好ましい。従って、凹部の形状は、露出領域の形状に従って、滑らかな連続した形状や、単発的な穴が分散した状態などとなる。

【0054】凹部の底面から発光層の上面までの厚さは、発光部からの光の取り出し量を多くするために薄い程よい。即ち、凹部は、活性層上面に達するほど深く形成してもよい。しかし、凹部の形成工程を考慮すると、凹部が深すぎると形成時の歩留まりが悪くなる。

【0055】上部電極をくし形のパターンとする場合、繰り返し部分の寸法は、発光素子の規模などにもよるが、「くしの歯」に相当する部分の電極の幅を0.1 μ m \sim 10 μ m程度とし、導体間の隙間の幅を0.1 μ m \sim 10 μ mとするのが好ましい。

【0056】凹部形成法はどのような方法でも良いが、エッチング時の制御性を考えるとリアクティブイオンエッチング(RIE)法が特に挙げられる。このRIEを行う際、凹部以外をエッチングしないようマスクを用いるが、発光電極そのものをマスクとして用いると工程が簡略化でき非常によい。更にマスク材として用いている電極の厚みがエッチング終了時に透明となる程度に制御するとよい。

【0057】

【実施例】実施例1

本実施例では、上記(1)の発光素子として図1に示す構造のものを実際に製作した。

〔結晶基板、およびバッファ層〕結晶基板としてはサブアC面結晶基板を用いた。まずこの基板をMOCVD装置内に配置し、水素雰囲気下で1000℃まで昇温し、サーマルエッチングを行った。その後窒素雰囲気下で切り替え、温度を500℃まで下げ原料としてトリメチルガリウム(以下TMG)を、N原料としてアンモニアを流し、Ga_{0.9}N_{0.1}低溫バッファ層を成長させた。

【0058】〔DH構造〕温度を1000℃に昇温し、原料としてTMG・アンモニアを、ドーパントとしてシランを流し、図1(a)におけるn型コンタクト層(n型クラッド層)であるn型Ga_{0.9}N_{0.1}層S1を3 μ m成長させた。続いて、トリメチルインジウム(TMI)、TMG、アンモニア、シランを流し、In_{0.2}Ga_{0.8}N_{0.2}活性層S2を形成した。さらに、TMG・アンモニア・ビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)を流し、p型コンタクト層(p型クラッド層)であるp型Ga_{0.9}N_{0.1}層S3を5.0 μ m(d)成長させた。その後窒素雰囲気下を窒素に切り換え室温まで冷却しサンプルを製作した。

【0059】成長後、p型コンタクト層S3の上面に、スパッタにより厚さ2000ÅのSiO₂膜を形成し、その上にフォトリソグラフィによりフォトレジストをパターンニング形成し、ドライエッチングにより部分的にn型コンタクト層S1が露出するまで5.5 μ mエッチングし、図1(a)に示すような積層構造体とした。

【0060】〔電極の形成〕p型コンタクト層上面のSiO₂膜に対して、フォトリソグラフィ技術によりくし型のパターンを形成し、電子ビーム蒸着により、厚さ500ÅのNi層、その上に厚さ1000ÅのAu層を形成した。そしてリフトオフにより、くし型パターンの電極P1とした。この時の「くしの歯」の部分の電極幅(被覆領域の幅W)は2 μ m、電極間の間隔(露出領域の幅G)は2 μ mであった。同様に、n型電極P2として、厚さ200ÅのTi層、その上に厚さ2300ÅのAl層を形成した。更に各電極のオーミック性を得るため600℃ \times 10m1n電極アニールした。

【0061】上部電極P1のうちのボンディング電極P1aは、上記と同様に、厚さ500ÅのNi層、その上に厚さ1500ÅのAu層を形成し、リフトオフにより形成した。この試料を、チップに分断し、上記(1)の発光素子として、Ga_{0.9}N_{0.1}LEDを得た。

【0062】得られた発光素子は、W=2 μ m、G=2 μ m、d=5.0 μ mであって、W \leq 10 μ m、W \leq 2 μ m、G \leq d \times tan θ 1(ただし、 θ 1=sin⁻¹(1/2.493))を満足している。このLEDをTo-18ステム台にマウントし、出力を測定したところ、波長450nm、20mAで、2.5mWであり、図8に示すような従来の発光素子に比べて、同じ電流、電圧

で、高い発光出力が得られた。

【0063】実施例2

本実施例では、くし形パターンの「くしの歯」の部分の電極幅(被覆領域の幅W)を $1\mu\text{m}$ 、電極間の間隔(露出領域の幅G)を $1\mu\text{m}$ としたこと以外は、実施例1と同様の発光素子を形成した。得られた発光素子は、 $W=1\mu\text{m}$ 、 $G=1\mu\text{m}$ 、 $d=5.0\mu\text{m}$ であって、 $W\leq 1.0\mu\text{m}$ 、 $W\leq 2G$ 、 $G\leq d\tan\theta/1$ (ただし、 $\theta=1/\sin^{-1}(1/2.493)$)を満足している。

【0064】このLEDを、 $\text{To}-18$ システム台にマウントし、出力を測定したところ、波長 450nm 、 20mA で、 3.0mW であり、実施例1の発光素子に比べて発光強度が同等であることがわかった。

【0065】実施例3

本実施例では、上記(3)の発光素子として図1(a)に示す積層構造、図5に示す上部電極構造のものを実際に製作した。結晶基板、バッファ層、 GaN 系結晶層S1、S2、S3の積層までは、実施例1と同様である。

【0066】(透光性電極)p型コンタクト層(=p型クラッド層)S3上に透光性電極を作製した。まず、フォトリソグラフィ技術により後工程で形成する幹線用電極のためのパターンを形成し、電子ビーム蒸着により、厚さ 25Å の Ni 層、その上に厚さ 25Å の Au 層を形成した。そしてリフトオフにより幹線用電極のパターンが残った透光性電極を形成した。幹線用電極のパターンは、図5(b)に示す通りである。同様にして、n型電極P2として、厚さ 200Å の Ti 層、その上に厚さ 2300Å の Al 層を形成した。更に各電極のオーミック性を得るため $600^\circ\text{C}\times 10\text{min}$ 電極アニールした。

【0067】幹線用電極は、フォトリソグラフィ技術によりパターンニングし、電子ビーム蒸着により厚さ 200Å の Ti 層、その上に厚さ 2300Å の Al 層を積層し、リフトオフにより形成した。幹線用電極の幅は、前記透光性電極に設けた溝の幅よりも大きく、図6(b)に示すように、幹線用電極の側部が透光性電極の上面に乗り上げて一部が重なり、互いに充分に溝通するようにした。

【0068】上部電極P1のうちのボンディング電極P1aは、実施例1と同様にして、厚さ 500Å の Ni 層、その上に厚さ 1500Å の Au 層を形成し、リフトオフにより形成した。この試料をチップに分断し、上記(3)の発光素子として、 GaN 系LEDを得た。

【0069】このLEDを、 $\text{To}-18$ システム台にマウントし、出力を測定したところ、波長 450nm 、 20mA で、 3.0mW であり、幹線用電極のない従来の透明電極だけのLEDに比べ、順方向電圧が低下し、面内均一な発光が得られ、発光出力が向上した。

【0070】実施例4

本実施例では、幹線用電極直下のp型コンタクト層の表面に、電流阻止層として SiO_2 層を形成したこと以外

は、実施例3と同様に発光素子を形成した。 SiO_2 層は、透光性電極を形成する前にフォトリソグラフィ技術、スパッタ、リフトオフにより、 SiO_2 層の上面とp型コンタクト層の上面とが同一になるように形成した。

【0071】チップに分断し、上記(3)の発光素子のバリエーションとしての GaN 系LEDを得た。このLEDを、 $\text{To}-18$ システム台にマウントし、出力を測定したところ、波長 450nm 、 20mA で、 3.0mW であり、実施例3のLEDに比べ、同等の発光強度が得られた。

【0072】実施例5

本実施例では、上記(7)の発光素子として、図1(a)に示す積層構造、図7に示す、上部電極構造およびp型コンタクト層構造を有する GaN 系LEDを実際に製作した。結晶基板、バッファ層、 GaN 系結晶層S1、S2、S3の積層までは、実施例1と同様の工程である。ただし、p型 GaN コンタクト層S3の層厚を $0.5\mu\text{m}$ とした。

【0073】得られたサンプルをドライエッチングによりp型 GaN コンタクト層S3と活性層S2の一部をエッチング除去し、n型コンタクト層S1を露出させ、n型電極P2を形成した。

【0074】次に、図7に示すように、p型コンタクト層S3の上面S31に、凹部S32を形成するため SiO_2 膜でマスクパターンを形成した。このマスクパターンは、上部電極を形成する面をくし型パターンに残すマスクパターンであって、くし形部分の寸法仕様は、電極幅 $2\mu\text{m}$ 、溝状の凹部幅 $4\mu\text{m}$ とした。その後ドライエッチングにより、上面S31から凹部を掘り下げ、活性層上面の近傍まで達する凹部を形成した。

【0075】次に、残された上面S31に、実施例1と同様にして上部電極をくし型パターンとして形成した。この試料をチップに分断し、上記(3)の発光素子として、 GaN 系LEDを得た。このLEDを、 $\text{To}-18$ システム台にマウントし、出力を測定したところ、波長 450nm 、 20mA で、 2.5mW であり、凹部のない従来のくし形パターンの電極のLEDに比べ、光取り出し効率が向上することがわかった。

【0076】実施例6

本実施例では、p型コンタクト層上面に、凹部形成よりも先にくし形パターンの電極を形成しておき、凹部形成に用いるマスクを Au/Ni 電極自体としたこと以外は、実施例5と同様に発光素子を形成した。その結果、実施例5と同一の構造が工程を簡略して作製できることがわかった。

【0077】

【発明の効果】上記説明のように、本発明による上部電極構造の種々の改善によって、より発光特性の優れた GaN 系発光素子、および、より受光特性の優れた GaN

系受光素子が得られるようになった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による発光素子Ga_{0.5}N_{0.5}系発光素子の構造の一例を示す図である。また、本発明の受光素子の構造の一例としても参照することができる。

【図2】図1(b)に示す上部電極のA-A断面のうち、繰り返し部分を拡大して示す図である。

【図3】本発明による発光素子の、上部電極の繰り返し部分の形成パターンを例示する図である。また、本発明による受光素子の、上部電極の繰り返し部分の形成パターンの例としても参照することができる。

【図4】本発明による発光素子の、上部電極の繰り返し部分の形成パターンの他の例を示す図である。また、本発明による受光素子の、上部電極の繰り返し部分の形成パターンの例としても参照することができる。

【図5】本発明による発光素子の、上部電極の形成パタ

ーンを例示する図である。また、本発明による受光素子の、上部電極の形成パターンの例としても参照することができる。

【図6】本発明による発光素子の、上部電極の他の態様を例示する図である。

【図7】本発明による発光素子の、上部電極およびp型コンタクト層の構造の一例を示す図である。

【図8】従来のGa_{0.5}N_{0.5}系発光素子の積層構造、電極のパターンを示す図である。

【符号の説明】

S1 n型コンタクト層(クラッド層)

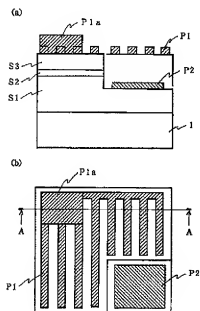
S2 発光層(活性層)

S3 p型コンタクト層(クラッド層)

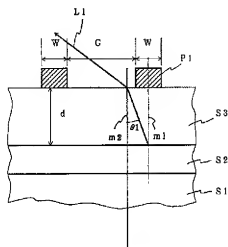
L1 光

P1 上部電極

【図1】



【図2】



S1 n型コンタクト層(クラッド層)

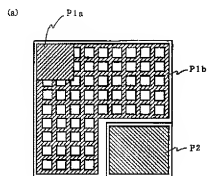
S2 発光層(活性層)

S3 p型コンタクト層(クラッド層)

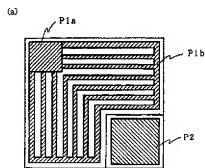
L1 光

P1 上部電極

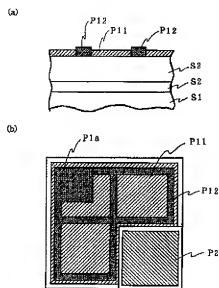
【図3】



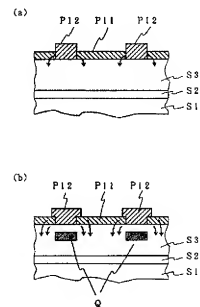
【図4】



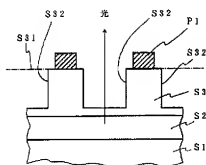
【図5】



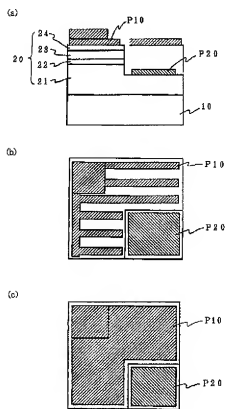
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 大内 洋一郎
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線
工業株式会社伊丹製作所内
(72)発明者 只友 一行
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線
工業株式会社伊丹製作所内

Ｆターム(参考) 5F041 AA03 CA02 CA04 CA05 CA34
CA40 CA46 CA65 CA66 CA83
CA93 CB02 CB13 DA19
5F049 MA02 MA04 MB07 NA01 PA04
SE02 SE05 SE09 WA03